



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# PRŮZKUM VLIVU GEOMETRIE PRŮŘEZU OHÝBANÉ ČÁSTI NA ŽIVOTNOST STABILIZAČNÍ TYČE AUTOMOBILU

INFLUENCE OF GEOMETRY BENDING AREAS ON THE DURABILITY OF  
TUBULAR STABILIZER BAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Josef KUŽELA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Eva PETERKOVÁ Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Josef Kužela

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

**Průzkum vlivu geometrie průřezu ohýbané části na životnost stabilizační tyče automobilu**

v anglickém jazyce:

**Influence of geometry bending areas on the durability of tubular stabilizer bars**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o průzkum vlivu geometrie průřezu zkoumaného ohýbaného úseku (ovalita, průběh tloušťky stěny, zvlnění) na životnost stabilizační tyče.

Cíle diplomové práce:

Teoretická analýza procesu ohýbání trubek.

Popis stroje, ohýbacího procesu a silové mechaniky při ohybu zadané součásti.

Analýza nastavení axiální síly a dalších parametrů ohýbací linky DKP.

Využití měřicího zařízení k ověření nastavených parametrů a jejich vlivu na kinematiku stroje.

Analýza zbytkových napětí ve zkoumaném úseku stabilizátoru.

Průzkum vlivu geometrie zkoumaného průřezu na životnost ohnutého dílce z trubky s využitím zkoušky kmitem.

Analýza lomu.

Provedení potřebných experimentů dle možností firmy.

Shrnutí poznatků a jejich uplatnění v praxi.

Seznam odborné literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal forming: Mechanics and Metallurgy. 3th ed. New York: Cambridge university press, 2007. 365 s. ISBN-13 978-0-521-88121-0.

MARCINIAK, Zdzislaw, John L. DUNCAN and Jack S. HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 0750653000.

YAFEI, L. a E. DAXIN. Effects of Cross-Sectional Ovalization on Springback and Strain Distribution of Circular Tubes Under Bending. Journal of Materials Engineering and Performance [online]. 2011, Volume 20, Number 9, Pages 1591-1599 [cit. 2011-05-28]. ISSN 1059-9495. DOI: 10.1007/s11665-010-9813-z. Dostupné z:

<http://www.springerlink.com/content/pq8r54240j788617/fulltext.pdf>.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření: Část II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. 155 s. ISBN 978-80-214-4406-5.

TANG, N. C. Plastic-deformation analysis in tube bending. International Journal of Pressure Vessels and Piping [online]. October 2000, Volume 77, Issue 12, Pages 751-759 [cit. 2011-09-16]. ISSN 0308-0161. DOI: 10.1016/S0308-0161(00)00061-2. Dostupné z: (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308016100000612>).

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 5.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Diplomová práce pojednává a shrnuje problematiku vlivu ovality na životnost ohýbaných součástí z trubkového polotovaru. Práce prezentuje přístup k řešení, experimentální zjišťování reálných hodnot ovality, změny tloušťky v zdeformovaném průřezu a především přiřazení daných výsledků únavových zkoušek ke zvoleným parametrům ohýbání.

**Klíčová slova**

trubka, ohýbání, ovalita, životnost, lom, únavové zkoušky.

**ABSTRACT**

Diploma thesis discusses and summarizes the problematic how ovality effects durability of bended tubes. The work presents an approach to the solution, the experiments concerning change of ovality, changes in the thickness of the distorted cross-section. Final results represent connection between ovality and durability.

**Key words**

tube, bending, ovality, durability, break, durability tests.

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KUŽELA, J. Průzkum vlivu geometrie průřezu ohýbané části na životnost stabilizační tyče automobilu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 103s. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Průzkum vlivu geometrie průřezu ohýbané části na životnost stabilizační tyče automobilu vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21.05.2013

Datum

Bc. Josef Kužela

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval zaměstnancům společnosti Mubea za pomoc a podporu, společnosti MCAE Systems, panu prof. Ing. Radku Samkovi, CSc. za cenné rady během konzultací, mé vedoucí Paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za vedení a konzultování při tvorbě práce. Také bych rád vyjádřil dík Panu Bc. Peterovi Poljakovi, s kterým jsme prováděli praktická měření a vyhodnocování. Velké dík patří mé rodině za velkou podporu během celých studií.

**OBSAH**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| ABSTRAKT .....                       | 4  |
| PROHLÁŠENÍ .....                     | 5  |
| PODĚKOVÁNÍ .....                     | 6  |
| OBSAH .....                          | 7  |
| ÚVOD .....                           | 8  |
| 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU .....     | 10 |
| 1.1 Stabilizátor a jeho funkce ..... | 10 |
| 2 ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA .....          | 12 |
| 3 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....      | 13 |

## ÚVOD

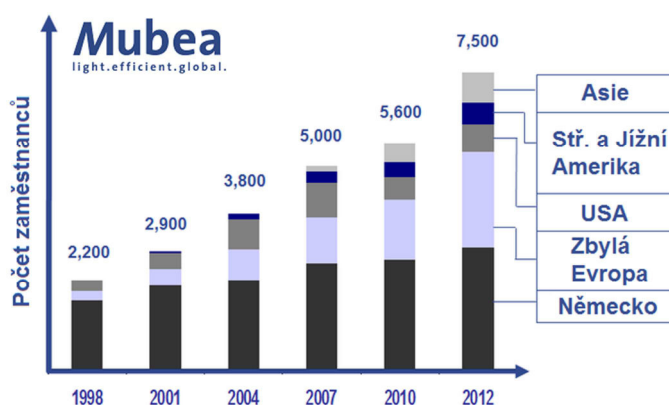
Strojírenství v České Republice je spojováno především s automobilovým průmyslem, které patří bez sporu k dynamicky se rozvíjejícímu odvětví. Zahrnuje širokou paletu strojírenských oborů, díky kterým výrobci automobilů a dodavatelé automobilových součástí mohou svým zákazníkům nabízet výrobky splňující náročné požadavky na kvalitu, přesnost a spolehlivost.

Mezi současné trendy v automobilovém průmyslu v Evropě a Severní Americe patří snižování spotřeby a snižování emisí skleníkovým plynů. Tento cíl je spojován často s optimalizací pohonných jednotek, ale mezi zásadní vlivy patří taktéž hmotnost automobilu samotného, která v poslední dekádě narostla právě kvůli vyšší bezpečnosti, bohatší výbavě atd. Například stabilizátor automobilu má významnou roli při zajišťování komfortních a bezpečných průjezdů v zatáčkách a i pro něj platí výše uvedené požadavky na nízkou hmotnost při zachování stávajících vlastností. Proto je při využívání trubkových polotovarů namísto plných tyčí nutné dbát zvýšené pozornosti, a to kvůli defektům vznikajícím při zpracování trubek. Chceme-li však vyrábět součástky splňující tato kritéria při zachování pevnosti a životnosti, musíme adekvátně přizpůsobit návrh, výrobu a testování dílců tak, abychom případným problémům zabránili.

Předkládaná diplomová práce je řešena v rámci spolupráce s firmou Mubea - HZP s.r.o a zabývá se komplexním přehledem možných příčin vad a jejich následků, které mohou vznikat již během návrhu dílce stabilizátoru trubkového polotovaru, tak během sériové výroby v produkční lince tvářením.

### Představení společnosti Mubea [1]

Název společnosti Mubea je zkratkou „Muhre und Bener KG“, německé firmy s centrálou v Attendornu, která patří mezi významné výrobce a dodavatele automobilových součástí. V Evropě je jedničkou na trhu a celosvětově dvojkou. Své mezinárodní působení intenzivně rozšiřuje, jak lze pozorovat na obr. 1 a v roce 2012 zaměstnávala přes 7500 zaměstnanců. V České republice provozuje tři závody. Jeden v Žebráku zabývající se montáží motorových mechanismů a produkcí hlavových opěrek, zbylé dva v Prostějově, které se zaměřují na výrobu pružin, stabilizátorů a zpracování výchozích tyčových polotovarů nejen pro české závody.



Obr. 1 Vývoj počtu zaměstnanců společnosti Mubea [2]



### Vize a mise společnosti [1]

Sjednocená vize a mise společnosti se zaměřuje na pohled do budoucnosti, na nastupující trendy, nové technologie, nové přístupy. Mnoho dnes využívaných mezinárodních standardů v automotive je dokladem naplňování uvedených principů. Proto se společnost Mubea zaměřuje na nejdůležitější směry, a to na trvalé snížení spotřeby paliva a hladiny emisí.

Uvedených směrů lze dosáhnout při návrhu lehčích automobilů jedině s užitím nových technologií, materiálů a jejich zpracování při zachování nejvyšších standardů kladených na kvalitu procesů.

### Strategie společnosti [3]

Společnost Mubea jako odborník na odlehčené konstrukce usiluje o uplatnění vlastních inovativních přístupů u celé řady svých produktů, čímž přispívá k redukci hmotnosti automobilu o cca 20 kilogramů na jeden automobil a snížení uvolňovaného oxidu uhličitého v rozsahu 3 až 6 gramů na kilometr.

Mezi hlavní body strategie patří:

- a) Využívání vysoko pevnostních materiálů.
- b) Redukování zbytkových napětí povrchovými úpravami.
- c) Přizpůsobování konstrukčního řešení v nejzatěžovanějších místech.
- d) Nahrazování tyčových polotovarů trubkovými.

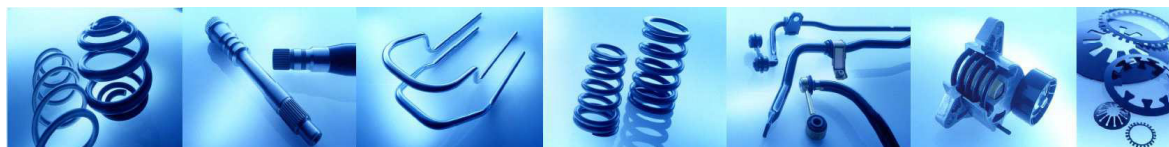
ad a) Vysoko pevnostní materiály získávané indukčním kalením a dalším termomechanickým zpracováním nabízejí vysoký potenciál pro odlehčené konstrukce v produktové řadě vinutých pružin a nacházejí čím dál větší uplatnění u stabilizátorů.

ad b) Zbytková napětí jsou u plných materiálů redukována pomocí vnějšího tryskání, u trubkových polotovarů je navíc zařazeno i vnitřní tryskání stěny.

ad c) Nejzatěžovanější místa jsou v kritickém místě podpořena vyšší tloušťkou stěny zatím, co zbytek dílce může mít tloušťku stěny nižší, což v konečném důsledku vede k úspoře hmotnosti součásti.

ad d) Výměna plných materiálů za trubkové při přizpůsobení procesů výroby umožňuje výraznou redukci hmotnosti například u vačkových hřídelí, stabilizátorů, opěrek hlav, hnacích a převodových hřídelí.

Níže uvedený obr 2. nabízí názornou představu o širokém zaměření výroby dané firmy v oblasti automobilového průmyslu.



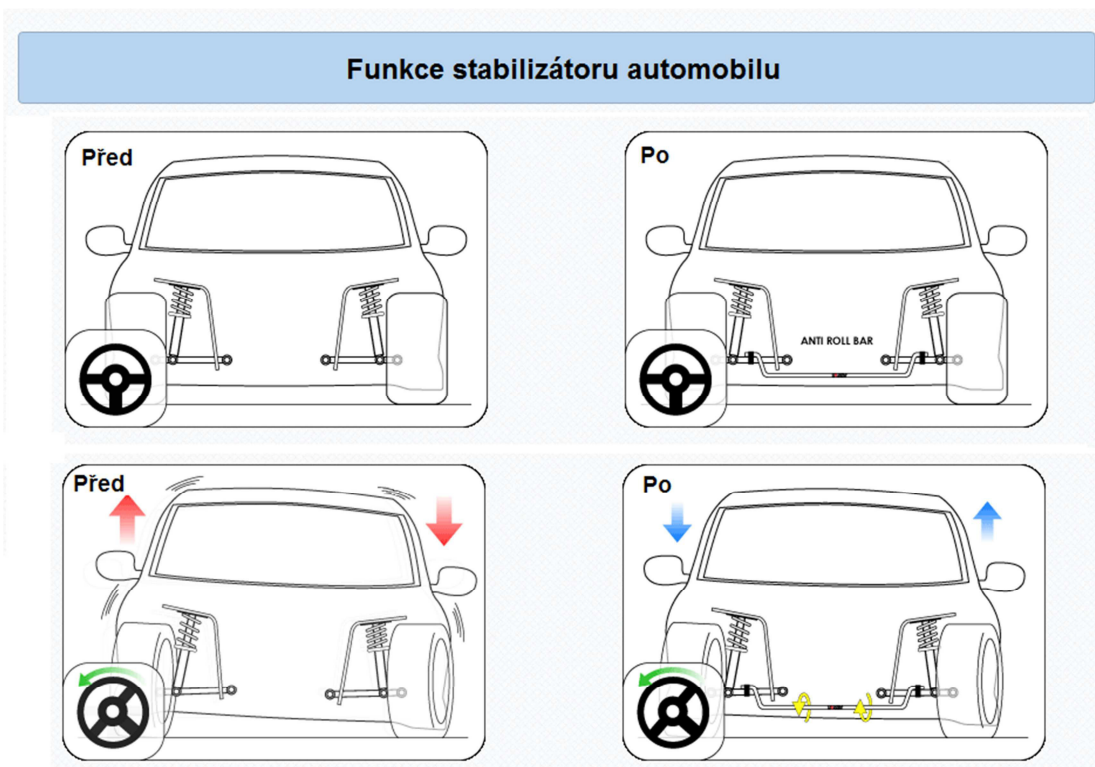
Obr. 2 Ukázka sortimentu společnosti Mubea [4]

## 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU

Diplomová práce je zaměřena zejména na problematiku tváření a s ním spojených problémů v oblasti výroby prostorově ohýbané součásti z trubky jako je stabilizátor. Výrobou stabilizátorů se zabývá firma Mubea HZP s.r.o., která téma Diplomové práce navrhla a pomocí jejího přispění je daná práce řešena. Bližší seznámení se společností Mubea bylo uvedeno v úvodu předkládané práce. Následující kapitoly jsou zaměřeny na principy a funkci stabilizátoru a na jednotlivé procesy spojené s jeho výrobou.

### 1.1 STABILIZÁTOR A JEHO FUNKCE [5]

Tyčový stabilizátor jako součást automobilového podvozku byl poprvé představen v roce 1949. Od té doby je jeho úkolem spojení pravé a levé strany nápravy. Název součásti vypovídá o jeho funkci, kterou je stabilizace nápravy propojením obou stran podvozku a tím zajištění dostatečné tuhosti. Jedná se převážně o poskytnutí potřebné tuhosti podvozku při průjezdu zatáčkami, kdy za přítomnosti stabilizátoru je redukováno naklápění karoserie. Daný efekt přispívá k lepší ovladatelnosti vozu v zatáčkách a zvyšuje tím bezpečnost v silničním provozu. Schéma znázorňující rozdíly v naklápění karoserie při absenci stabilizátoru a jeho využívání na obr. 3. Přední i zadní náprava bývá napříč propojena vlastními stabilizátory, často různého tvaru.

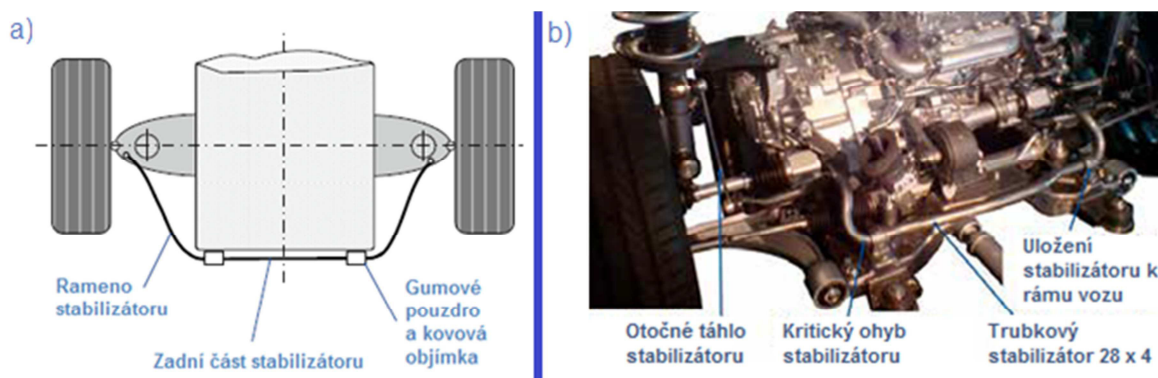


Obr. 3 Naklápění před využíváním stabilizátorů a po zavedení stabilizátoru [6]

Bližší komentář k obr. 3 Na schématech před použitím stabilizátoru lze vidět situaci, kdy vůz najíždí do zatáčky. Kvůli hmotnosti karoserie a odstředivé síly se vnější pružiny stlačují víc než vnitřní. Následkem je vysoký náklon karoserie proti směru zatáčení a zhoršená ovladatelnost vozu.

Po začlenění stabilizátoru do soustavy se rameno stabilizátoru při průjezdu zatáčkou stáčí směrem dolů, zatím co na vnější straně se rameno stabilizátoru stáčí směrem nahoru. To způsobuje zkroucení stabilizátoru a obrácenou momentovou reakci vycházející z tuhosti stabilizátoru. Výsledkem je výrazné snížení zatížení vnějších kol. Dochází tak k rozložení zatížení, snížení naklopení karoserie a zvýšení ovladatelnosti vozu v zatáčce. Požadavky kladené na přední nápravu jsou obecně vyšší a v případě stabilizátoru to platí rovněž. Oproti stabilizátorům v zadních nápravách mívají přední stabilizátory větší rozměry průřezu, takže jsou více aplikovány snahy o redukci hmotnosti prostřednictvím výměny plného polotovaru za trubkový.

Konstrukční řešení stabilizátoru bývá individuální „vůz od vozu“. Nejjednodušší řešení je do tvaru „U“, viz obr. 4 a). Zadní část tyče je pevně upevněna kovovými objímkami k rámu automobilu. Kovové objímky dosedají na gumová pouzdra, která tak umožňují rámcově rotaci v uložení při vyrovnávání zatížení. Ramena stabilizátoru jsou pevně spojena s koly a nastavena tak, aby co nejlépe zabráňovala naklápění karoserie vozidla. Uvedené technické provedení patří k základním běžně používaným u většiny sériových vozů. obr. 4 b) dále představuje další možné provedení, které je složitější jednotlivými ohyby podél celého tvaru. Složitější tvary jsou odpovědí na menší montážní a funkční prostor v podvozkovém rámu automobilu.



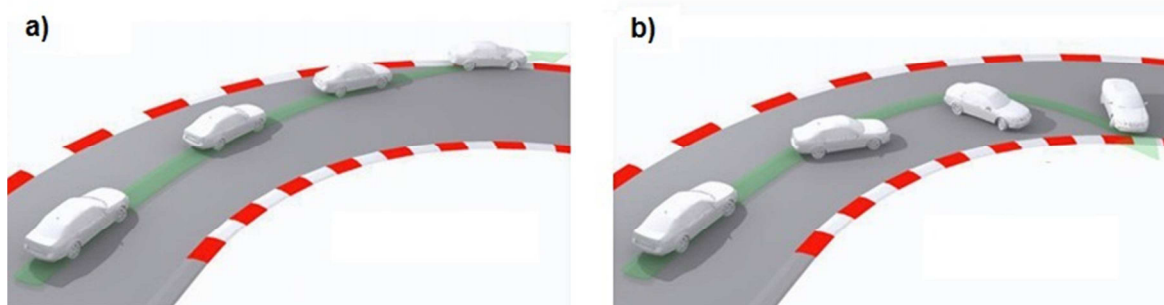
Obr. 4 a) Grafické schéma uložení stabilizátoru tvaru „U“ b) Reálné uložení stabilizátoru v rámu automobilu [5]

Další výhody používání stabilizátoru:

V případech, kdy jedno z kol najede na vyvýšenou překážku se rameno stabilizátoru pohybuje ve směru stlačované pružiny, tedy nahoru. Přes zadní část stabilizátoru je tato reakce přenášena na opačnou stranu, kde se rameno taktéž natočí směrem nahoru a stlačí tak pružinu a tím snižuje rozdíly naklopení karoserie.

Pro prémiový segment může být funkce stabilizátor rozšířena a sloužit jako doplněk asistenčních systémů, například zabráňování oslňování protijedoucích vozidel. Řídící jednotka světlometů obsahuje dorazový kontakt spojený se stabilizátorem. Vozidlo tak po projetí nerovností zaznamená změnu polohy stabilizátoru a reaguje sklopením světlometů, čímž snižuje rizika oslňování. Uvedené speciální určení klade větší důraz na konstrukci a přípravu tolerovaných ploch pro umístění zmíněných čidel.

Vliv stabilizátorů na řízení a chování vozidla je velmi efektivní. Bez stabilizátoru je vliv posuvu zatížení na vnější kola mnohem vyšší, což snižuje šanci na čitelný průjezd zatáčkou. V situaci, kdy síla potřebná k udržení požadovaného směru vozidla bude větší než přilnavost pneumatik na vozovce, se kola začnou smýkat mimo zvolený směr jízdy. V případě, kdy přední náprava ujíždí ze směru jízdy, hovoříme o nedotáčivosti (obr. 5a) a o přetáčivosti (obr. 5b), pokud stejný jev nastane na zadní nápravě. Pokud se obě nápravy pohybují smykem současně, pak hovoříme o neutrálním chování.



Obr. 5 Různé chování v zatáčkách [7]

Je nezbytné, aby součástka stabilizátoru plnila svoji funkci po dobu životnosti automobilu hlavně kvůli bezpečnosti posádky. Během vývoje a výroby stabilizátorů je kladen velký důraz na co maximální životnost dílce.

## 2 ŘEŠENÁ PROBLEMATIKA

Diplomová práce se tak soustřeďuje primárně na průzkum vlivu geometrie průřezu ohýbané části na životnost stabilizační tyče automobilu, při které je provedena teoretická analýza procesu ohýbání trubek. Dále je rozpracován popis ohýbacího stroje a princip metody ohýbání kritického ohybu. Práce se zaměřuje na analýzu nastavitelných parametrů při ohýbání a jejich vliv na kinematiku stroje. Nastavení je prakticky ověřováno sérií experimentů v závodu společnosti. Je provedena analýza zbytkových napětí při různých variantách nastavení. Hlavní důraz je kladen na prověření vlivu geometrie průřezu na životnost ohnutého dílce pomocí zkoušky kmitem a následném vyhodnocení pomocí lomové analýzy. Provedená měření a získané výsledky jsou shrnuty do závěrů a doporučení.

### 3 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MUBEA. *Mubea: light, efficient, global* [online]. [vid. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.mubea.com/cz/home/>
2. MUBEA. *Mubea: light, efficient, global*. [online]. [vid. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.mubea.com/cz/company/employees/>
3. MUBEA. *Mubea: Innovation*. [online]. [vid. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.mubea.com/cz/strategy/innovation/>
4. MUBEA. *Mubea Prostějov*. [online]. [vid. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.mubea.com/cz/career/czech-republic/burza-prace/mubea-prostejov/>
5. MUBEA. *Mubea Akademie: Stabilizer Bars*. 1. vyd. 2013.
6. *Ultra Racing: Chassis Tuning Specialist*. A. [online]. 2012 [vid. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.ultraracing.my/home/knowledge-base/how-it-works/>
7. *The Steering Bible: Vehicle dynamics and steering*. A. [online]. 2013, 2.4.2013 [vid. 2013-05-16]. Dostupné z: [http://www.carbibles.com/steering\\_bible.html](http://www.carbibles.com/steering_bible.html)

